

# CAMBIO CLIMÁTICO

Aproximaciones para el estudio de  
su efecto en la biodiversidad



Gerardo Sánchez Rojas  
Claudia Ballesteros Barrera  
Numa P. Pavón

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO



# **CAMBIO CLIMÁTICO**

Aproximaciones para el estudio de  
su efecto sobre la biodiversidad

*Editores:*

Gerardo Sánchez Rojas

Claudia Ballesteros Barrera

Numa P. Pavón

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

# UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

**Humberto Veras Godoy**

*Rector*

**Adolfo Pontigo Loyola**

*Secretario General*

**Jorge del Castillo Tovar**

*Coordinadora de la División de Extensión*

**Octavio Castillo Acosta**

*Director del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería*

**Alejandro Vizuet Ballesteros**

*Director de Ediciones y Publicaciones*

**Jesús M. Castillo Cerón**

*Jefe del Área Académica de Biología*

Primera edición: 2011

© UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería

Abasolo 600, Centro, Pachuca, Hidalgo, México. CP 42000

Correo electrónico: [editor@uaeh.edu.mx](mailto:editor@uaeh.edu.mx)

Prohibida la reproducción parcial o total de esta obra

sin consentimiento escrito de la UAEH

ISBN: 978-607-482-152-9

## Capítulo V

# El efecto de El Niño en ecosistemas semiáridos: un estudio de caso sobre la fenología de arbustos en el centro-sur de México

Numa P. Pavón y Oscar Briones

### Resumen

El fenómeno océano-atmosférico El Niño está asociado con variaciones climáticas que en el centro de México provoca sequía de verano. En este capítulo aportamos información sobre el efecto de El Niño sobre la fenología de cuatro especies de arbustos dominantes, dos caducifolios y dos perennifolios, en un ecosistema semiárido de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Durante el evento de El Niño de 1997, registramos una fuerte reducción en la precipitación de verano y como consecuencia de la sequía hubo una disminución en la producción de hojas y flores, en las cuatro especies estudiadas. La caída de las hojas ocurrió bajo potenciales hídricos del suelo más negativo que los registrados en 1996. Se obtuvo una correlación significativa entre la humedad relativa con los patrones de foliación de las cuatro especies estudiadas. En ecosistemas semiáridos la respuesta fenológica de los arbustos a sequías impredecibles, como las asociadas con el fenómeno de El Niño, esta relacionada con las diferentes estrategias de tolerancia al estrés hídrico características de cada forma de vida vegetal (arbustos deciduos y arbustos perennifolios). Aunque, recientemente se ha incrementado la literatura sobre el efecto del El Niño en los ecosistemas terrestres, el conocimiento aún es limitado. Debido a la baja predictibilidad y naturaleza a largo plazo del fenómeno es difícil evaluar el efecto de El Niño. Por lo anterior se propone su estudio a partir de establecer parcelas de observación a largo plazo, por lo menos 10 años, en diferentes ecosistemas terrestres en México.

**Palabras clave:** El Niño, ENSO, matorral, ecosistema semiárido, Zapotitlán.

### Abstract

El Niño is an ocean-atmospheric phenomenon associated with climatic variations. In central Mexico, this phenomenon generates summer droughts. In this chapter, we provide some information about effect of El Niño on phenological patterns of four shrubs species (two deciduous species and two evergreen species) in a semiarid

ecosystem of the Biosphere Reserve Tehuacán-Cuicatlán. During El Niño de 1997, we registered a sharp decline of summer precipitation. This drought caused a decrease in leaves and flowers production in all study species. The leaf fall occurred at low soil water potential, lower than in 1996 (no-El Niño year). We obtained a significant correlation between air humidity with leaf phenology in all species. In semiarid ecosystem, shrub's phenological response to unpredictable droughts, associated with El Niño, are related with different strategies to water stress tolerance of each plant life form. Although, papers have increased about the effect of El Niño in terrestrial, the knowledge is still scanty. This is because to low predictability and long-term nature of the phenomenon. Therefore it is proposed to study by long-term experimental plots in different terrestrial ecosystems in Mexico.

**Keywords:** El Niño, ENSO, Shrubland, semiarid ecosystems, Zapotitlan.

### Introducción

El Niño o también llamado ENSO (El Niño Oscilación del Sur), es un fenómeno océano-atmosférico que provoca alteraciones climáticas importantes en los patrones de temperatura y precipitación en diferentes zonas del planeta. Uno de los efectos más importantes de El Niño son las intensas sequías que ocurren en regiones extensas de Australia, África, Eurasia y Norteamérica (Glantz, 2001; Philander, 2004; Meyn *et al.*, 2009; van der Kaars *et al.* 2010). Aunque puede parece contra intuitivo, los eventos de precipitaciones extremas que ocurren en amplias regiones sudamericanas también están asociados al fenómeno del Niño. Entre las zonas más afectadas por estas lluvias intensas se encuentran las costas del Atlántico en países como Perú y Chile.

El fenómeno de El Niño tiene un fuerte efecto sobre los ecosistemas, en particular sobre la productividad primaria de los sistemas áridos y semiáridos, debido a que son sistemas ecológicos fuertemente limitados por el agua (D'Aleo, 2002; Holmgren *et al.*, 2001; Holmgren *et al.*, 2006a).

En los ecosistemas áridos de la costa sudamericana, como en el Atacama, el incremento de la lluvia durante episodios de El Niño es crucial para el reclutamiento de diversas especies vegetales, la productividad y el mantenimiento de la biodiversidad (Holmgren *et al.*, 2006a; Holmgren *et al.*, 2006b).

En la zona centro-sur de México, donde se encuentran amplias extensiones de los estados de Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Tlaxcala y Puebla, los eventos de El Niño están asociados con la presencia de sequías de variada intensidad. El efecto de estas sequías sobre los ecosistemas de México no han sido completamente evaluados (D'Aleo, 2002). Una zona de gran importancia ecológica por mantener una alta biodiversidad de flora y fauna característica de ecosistemas semiáridos es la que se encuentra limitada por la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. La reserva se localiza en la zona sur del estado de Puebla y en el noreste del estado de Oaxaca; tiene un clima semiárido con una marcada época de lluvias que permite hacer predicciones sobre la precipitación total anual (Valiente, 1991).

Durante el evento de El Niño 1997-98, considerado el más fuerte del siglo pasado y de lo que va del XXI, se registró una fuerte modificación en el régimen de lluvias debido a la intensa sequía ocurrida durante el verano de 1997 (Changnon, 1999; Mcphaden, 2002). En este capítulo se reportan los resultados de un estudio comparado de los patrones fenológicos de cuatro especies dominantes del matorral desértico de Tehuacán-Cuicatlán, durante un año (1996) con un patrón de lluvias similar al promedio de largo plazo y otro año (1997) caracterizado por una aguda y desproporcionada sequía provocada por el fenómeno de El Niño.

### Estudio de caso

El sitio de observación fue la localidad de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, ubicado dentro de la reserva de la biosfera (18° 20' N, 97° 28' W). El clima de la localidad es seco con una marcada época de lluvias (mayo a octubre). La precipitación promedio anual es de 410.5 mm (promedio de registros de 1969 a 1997). Cuando ocurren eventos de El Niño en el sitio, la lluvia de verano decrece notoriamente en comparación con otros años sin evento de El Niño. Durante el evento de El Niño de 1997 ocurrió una sequía extraordinaria con un déficit hídrico de 25%, con respecto a la precipitación promedio anual (Figs. 1a, b).

Otras variables ambientales registradas durante el periodo de 1996-1997, fueron la temperatura, la humedad del aire, la evaporación, el potencial hídrico

del suelo (PHS) y la humedad del suelo (Fig. 2). Además, se estimó, para ese periodo de tiempo, la radiación y el fotoperiodo. La temperatura promedio anual del sitio fluctuó entre 18° y 22° C durante el periodo de 1996-1997 (Fig. 2). La humedad del suelo y el potencial hídrico del suelo tuvieron un decremento durante el verano de 1997, con respecto al año previo. Se estimó un pico muy marcado en la radiación solar durante el periodo de junio-agosto de 1997, que no ocurrió en 1996. La evaporación fluctuó a lo largo del año, se observa una relación positiva con la radiación durante los meses de invierno, en ambos años de estudio (Fig. 2b).

Las observaciones fenológicas se realizaron en dos especies de arbustos deciduos y dos especies perennifolias que son dominantes del matorral crasicale de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán. Los arbustos son la forma de vida vegetal dominante en ecosistemas desérticos. Dependiendo de la especie y las condiciones ambientales, los arbustos pueden mantener su follaje o permanecer desfoliados durante un periodo de tiempo, generalmente durante la época seca (en ecosistemas semiáridos) (Reynolds *et al.*, 1999). Los arbustos deciduos o semi-deciduos están representados por especies que prosperan en ambientes que tienen una predecible estación seca, donde una reducción de la superficie de transpiración es una importante estrategia de supervivencia a la sequía (Casper *et al.*, 2001). Sin embargo, como consecuencia de perder sus hojas las plantas no pueden fijar carbón durante ese periodo. Los arbustos deciduos de ecosistemas áridos estacionales responden directamente a los incrementos en la humedad del suelo (Pavón & Briones, 2001). Por otro lado, los arbustos perennifolios mantienen sus hojas durante la sequía y el remplazo de las hojas ocurre sin que se pierda completamente el follaje (Kikuzawa, 1991; Reynolds *et al.*, 1999; Pavón & Briones, 2001). Esto debido a las reservas de agua que se encuentran tanto en los tejidos de las plantas como en el suelo (manto freático). Por lo anterior, los arbustos con capacidad para utilizar reservas de agua son relativamente independientes de los pulsos de agua y por consiguiente de la frecuencia de la humedad del suelo o agua disponible generada directamente por las lluvias. Se ha relacionado la pérdida de hoja por senescencia con una disminución del potencial hídrico del suelo (PHS). En especies deciduas la pérdida de hojas ocurre cuando el PHS se encuentra entre -0.5 y -1.0 MPa, mientras que en especies perennifolias acontece cuando el PHS está entre -1.5 to -2.0 MPa (Williams *et al.*, 1997). En regiones con sequías estacionales la variación de PHS ocasiona que las especies deciduas pierdan sus hojas uno o dos meses antes que las perennifolias (Williams *et al.*, 1997).

Fig. 1 Distribución de la precipitación en la estación meteorológica de Zapotitlán de las Salinas en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, durante 1979 a 1997. (a) Precipitación total en verano (considerando solo los meses de julio a septiembre), las barras blancas indican valores promedio obtenidos en 28 años, las barras negras indican periodos con eventos de El Niño; (b) precipitación total mensual, las barras blancas indican valores promedio obtenidos en 28 años, las barras con rayas indican los valores en 1996 (año sin El Niño), las barras negras indican los valores en 1997 (año con El Niño).

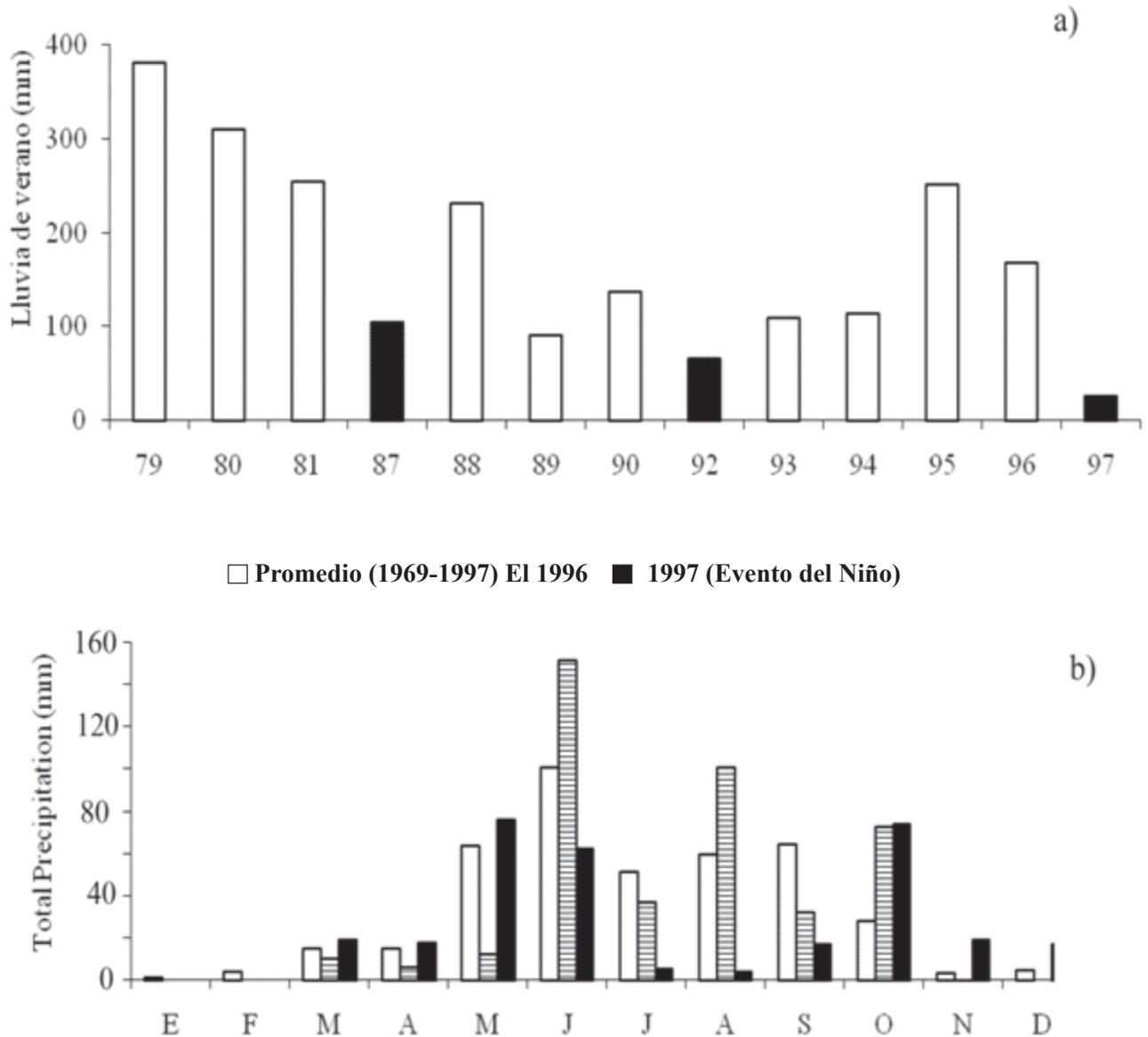
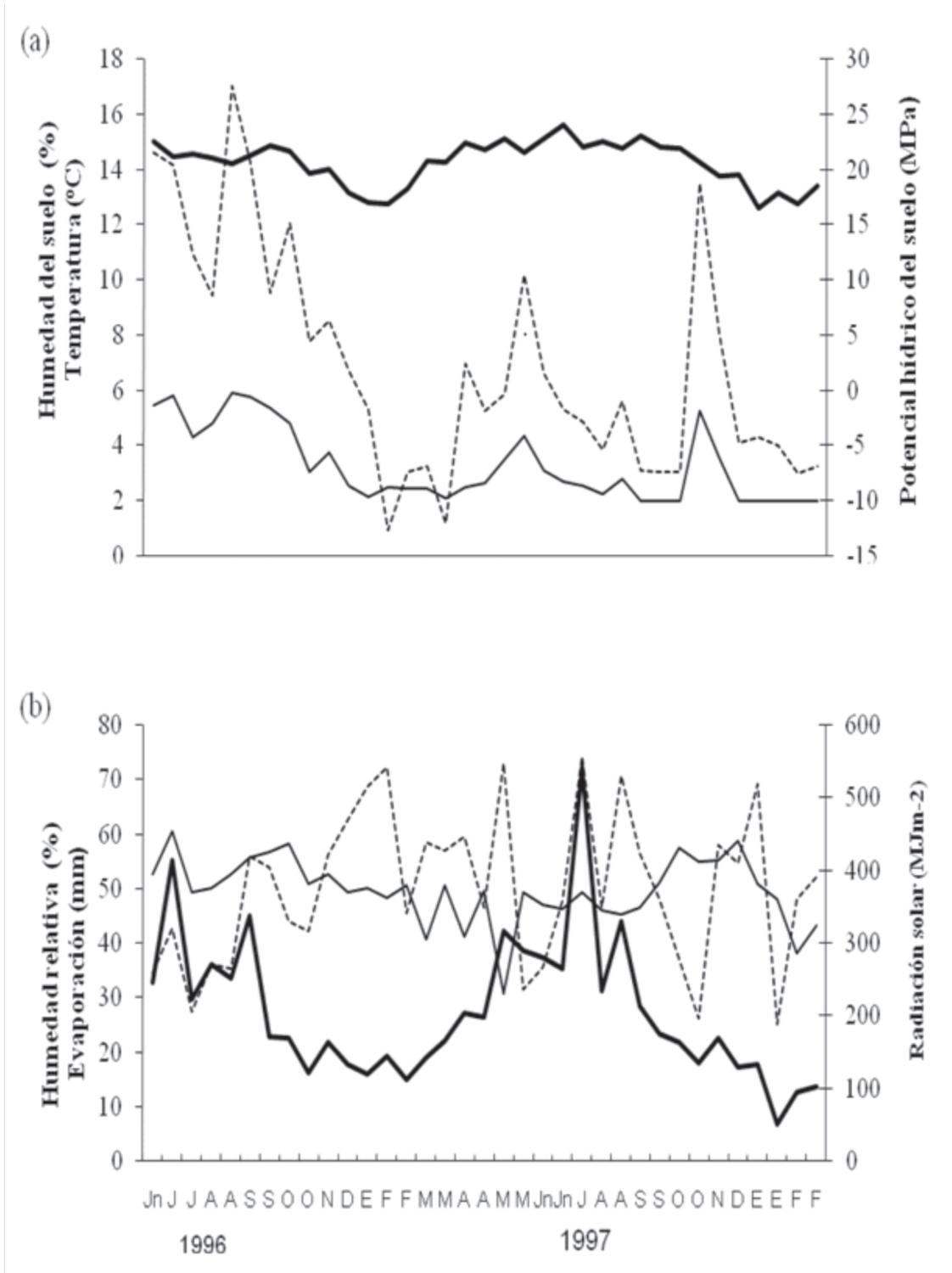


Fig. 2. Variación ambiental en la localidad de Zapotitlán de las Salinas, en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, durante 1996 y 1997. (a) temperatura del aire (línea gruesa continua), potencial hídrico del suelo (línea delgada continua) y humedad del suelo (línea discontinua) a 10 cm de profundidad; (b) humedad relativa (línea continua), evaporación (línea discontinua) y radiación solar (línea gruesa).



Los individuos seleccionados para el registro fenológico se encontraban dentro de un área delimitada de 0.5 ha, ubicada sobre una ladera con orientación sur y con pendiente de 33°. El matorral crasicaule es el tipo de vegetación característico del sitio, donde las especies dominantes son arbustos microfilos espinosos y cactus columnares. La cobertura vegetal al interior de la parcela fue 3061.5 m<sup>2</sup>, donde los arbustos representaron 82.4% y los perennifolios el 17.6%. Los registros fenológicos se realizaron en dos arbustos deciduos y dos perennifolios. Los primeros fueron *Mimosa luisana* Brandege (Mimosaceae) con 42.1% de la cobertura de la parcela y *Caesalpinia melanadenia* (Rose) Standley (Caesalpinaceae) que cubrió 26.6%. Los arbustos perennifolios fueron *Castella tortuosa* Liebm. (Simarubaceae) que solo cubrió 5.6% de la parcela y *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) (Mimosaceae) con una cobertura de 0.5%.

Se seleccionaron 10 plantas maduras y presumiblemente sanas de cada una de las especies estudiadas. De junio de 1996 a febrero de 1998 se registró quincenalmente el número de hojas y estructuras reproductivas de cada individuo seleccionado. La cuantificación de estructuras se realizó en 10 ramas marcadas cuando inició el crecimiento de cada planta.

Las mediciones de humedad del suelo y PHS se realizaron en muestras colectadas a 10 cm de profundidad en tres sitios, uno en el centro y dos en los bordes. El PHS se midió usando un microvoltmetro HR 33T y cámaras de presión C-52 (Wescor Inc. USA). La humedad del suelo se midió usando el método volumétrico considerando la pérdida de peso de la muestra al ser secada (Gardner et al., 2000). Los registros de precipitación, evaporación, temperatura y humedad relativa fueron obtenidos de una estación meteorológica localizada a 500 m de la parcela. El fotoperiodo y la radiación fueron estimados usando la latitud del sitio (Ezcurra et al., 1991).

Con los registros fenológicos y ambientales obtenidos durante el periodo de estudio, se construyeron modelos regresión múltiple para cada especie, considerando á d $\bar{S}$  0.05 como umbral para incluir o eliminar variables del modelo. En todos los modelos los registros fenológicas fueron considerados como las variables dependientes. Solo se consideraron los modelos significativos (á d $\bar{S}$  0.05) y los que tuvieron menor cantidad de variables independientes. Para disminuir la variación, previo a realizar los análisis de regresión los datos fueron ajustados con modelos polinómicos usando el programa JMP 4.0 (SAS, 2000). Para evaluar el efecto

del factor “evento de El Niño” (con y sin evento de El Niño) y el factor “forma de vida de las especies” (arbustos deciduos y arbustos perennifolios) se realizaron análisis de varianza con medidas repetidas (Scheiner & Gurevitch, 2001); se usaron dos periodos: junio de 1996 –febrero de 1997 (sin evento de El Niño) y junio 1997-febrero 1998 (con evento de El Niño). Para cumplir con la normalidad e igualdad de varianzas, los datos de número de hojas fueron transformados usando log<sub>10</sub> (dato + 1) (Zar, 1996). Los análisis estadísticos se realizaron usando el programa SYSTAT 10.0 (Systat 2000). No se realizaron pruebas estadísticas para la producción de estructuras reproductivas, debido a que el número de flores producidas fue muy bajo, la matriz de datos contenía un exceso de ceros y los valores del error estándar fueron muy altos.

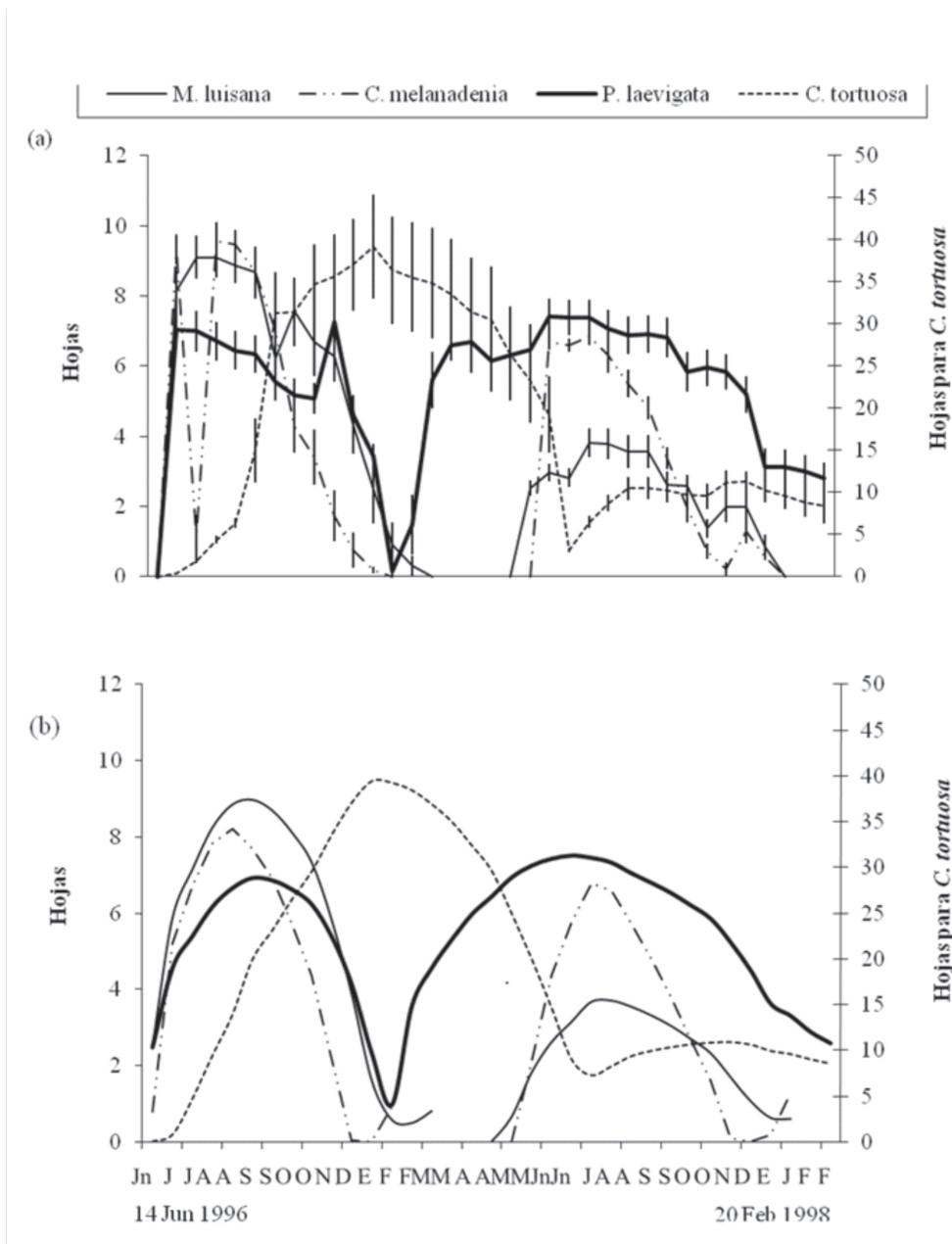
La precipitación promedio de la zona de estudio (estación meteorológica de Zapotitlán de las Salinas) es de 410 mm, en 1996 registramos 10 mm por arriba de ese valor. Sin embargo, en 1997 ocurrió una intensa sequía intraestival que provocó un déficit de 100 mm con respecto a los promedios de lluvia para los meses de julio - septiembre (Fig. 1b). El PHS y la humedad del suelo reflejaron también la sequía ocurrida en el verano de 1997 (Fig. 2a). La radiación solar y la evaporación tuvieron sus picos más altos durante el periodo de julio – agosto de 1997 en comparación al mismo periodo de 1996 (Fig. 2b).

Con respecto a la fenología foliar, esta tuvo diferencias significativas entre años ( $F = 14.47$ ,  $P < 0.001$ ) y entre formas de vida de las plantas ( $F = 90.2$ ,  $P < 0.001$ ). Los arbustos deciduos iniciaron la pérdida de hojas al final de la temporada de lluvias y se mantuvieron desfoliados durante la temporada seca (noviembre a mayo). El número de hojas producidas fue mayor en 1996 con respecto a 1997, donde fue notoria una fuerte disminución en el número de hojas en las dos especies, en particular en *Mimosa luisana*. La producción de hojas en las dos especies perennifolias varió entre años. Aunque ninguna de las dos especies perdió completamente sus hojas, *Prosopis laevigata* tuvo menos hojas durante la parte final de la época seca en 1997 (febrero – marzo) y *Castella tortuosa* tuvo un menor número de hojas durante la sequía de verano del mismo año (julio- agosto) (Fig. 3). Es notorio que el número de hojas en *P. laevigata* no fue afectado por la sequía, y que la pérdida de hojas ocurrió solo durante la época seca (noviembre-marzo) de ambos años de estudio.

Aunque varias variables del ambiente influyeron en el comportamiento fenológico de las especies durante

Fig. 3 (a) Promedio de hojas  $\pm$  S.E. (b) curvas ajustadas ( $P < 0.05$ ) mediante modelos polinómicos de 3<sup>er</sup> grado para el número de hojas de 4 especies arbustivas en la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, durante 1996 y 1997. Los modelos usados son: para los registros de 1996 y 1997 de los arbustos estudiados

<i>M. luisana</i> (1996)	$y = 18.98 - 0.058x - 0.00035(x - 197.93)^2 + 0.0000031(x - 197.93)^3, r^2=0.86$
<i>M. luisana</i> (1997)	$y = 13.36 - 0.019x - 0.00018(x - 526.06)^2 + 0.0000013(x - 526.06)^3, r^2=0.83$
<i>C. melanadenia</i> (1996)	$y = 20.29 - 0.079x - 0.00056(x - 176.69)^2 + 0.0000062(x - 176.69)^3, r^2=0.68$
<i>C. melanadenia</i> (1997)	$y = 44.98 - 0.076x - 0.00023(x - 533.71)^2 + 0.0000052(x - 533.71)^3, r^2=0.82$
<i>P. laevigata</i> (1996)	$y = 9.64 - 0.016x - 0.00038(x - 176.69)^2 + 0.0000014(x - 176.69)^3, r^2=0.63$
<i>P. laevigata</i> (1997)	$y = 15.32 - 0.016x - 0.00012(x - 510.17)^2 + 0.0000004(x - 510.17)^3, r^2=0.86$
<i>C. tortuosa</i> (1996)	$y = 19.08 - 0.073x - 0.00104(x - 263.36)^2 + 0.0000011(x - 263.36)^3, r^2=0.91$
<i>C. tortuosa</i> (1997)	$y = 10.25 - 0.001x - 0.00027(x - 579.31)^2 + 0.0000006(x - 579.31)^3, r^2=0.72$



1996 y 1997, la humedad del suelo fue la variable explicatoria que apareció en todos los modelos de regresión, con excepción de los modelos para *Mimosa luisana* y *P. laevigata* en 1997 (Cuadro 1). Aunque no fue incluido en los modelos de regresión, el PHS también afectó los patrones fenológicos de las plantas. Los arbustos deciduos comenzaron a perder sus hojas entre -0.5 MPa and -1.6 MPa en 1996. Sin embargo, en 1997 la pérdida de hojas en esta forma de vida ocurrió bajo PHS mas negativos ( $> -8.0$  MPa) (Fig. 2a). En cuanto al arbusto perennifolio *P. laevigata*, este comenzó a perder sus hojas a -1.6 MPa en 1996 y a -8.6 MPa en 1997, mientras que *C. tortuosa* perdió sus hojas, en ambos años, bajos potenciales menores de -8.0 MPa.

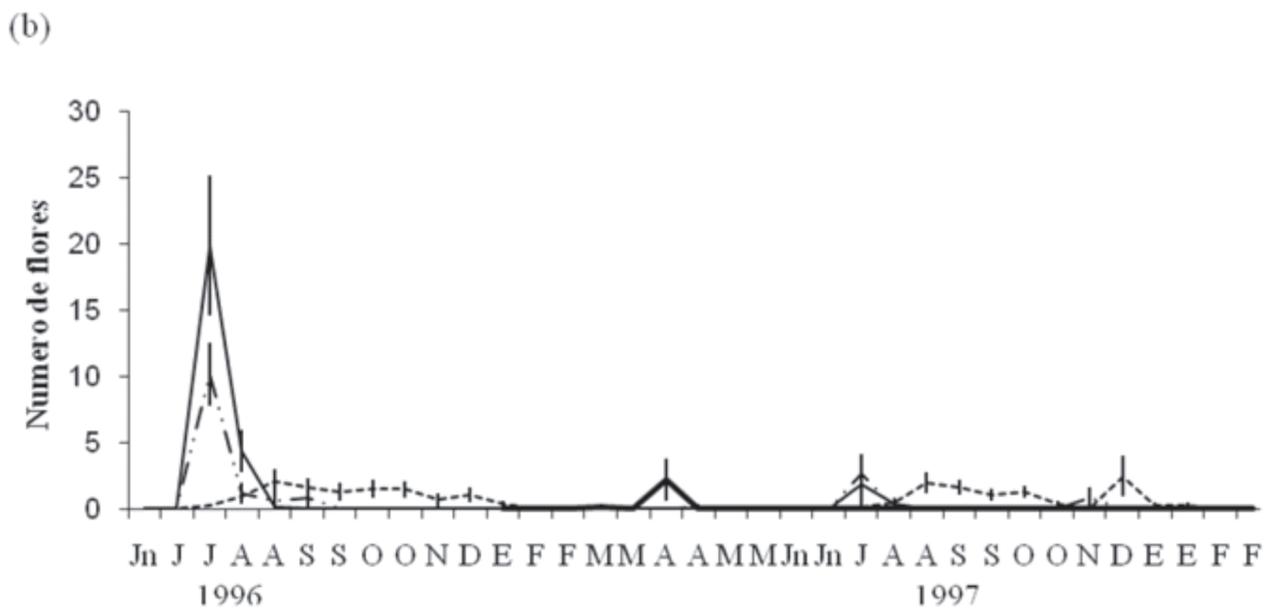
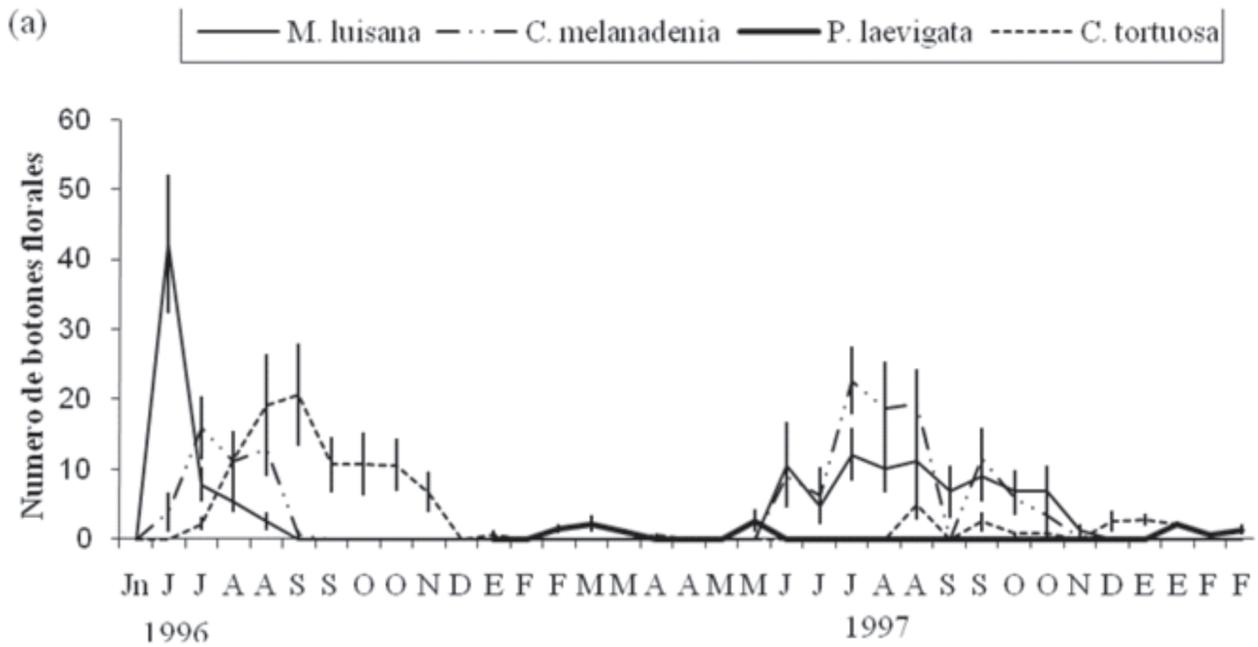
La producción de botones florales y flores en antesis de *M. luisana*, *C. melanadenia* y *C. tortuosa* ocurrió principalmente durante la época de lluvias durante 1996, con excepción de *C. tortuosa* en la que continuó hasta

el inicio de la época seca en invierno (Fig. 4). Sin embargo, la relación entre el numero de botones y las flores generadas fue semejante en las tres especies. Durante 1996 *Mimosa luisana* tuvo en promedio  $19.9 \pm 5.33$  flores y en *Caesalpinia melanadenia* el promedio fue de  $10.2 \pm 2.42$  flores. El numero de flores producidas en ambas especies fue mucho menor en 1997, ya que los promedios en el numero de flores fue de  $1.9 \pm 1.9$  y de  $2.7 \pm 1.46$  para *M. luisana* y *C. melanadenia*, respectivamente. Aunque, en 1997 se registró una producción de botones flores, la cual fue menor que en 1996, pocas flores pudieron generarse. Por otro lado, es muy interesante el comportamiento que tuvo *Mimosa luisana* en 1997, en el año previo se mostró un pico de floración que durante el año de El Niño no apareció, en su lugar se observó una fluctuación. Esta fluctuación fue debida a que los botones florales permanecieron sin madurar durante más tiempo. En general solo *C. tortuosa* produjo flores en 1997. Por su parte, solos se registró

Cuadro 1. Modelos de regresión para explicar el número de hojas producidas en función de las variables ambientales de 4 arbustos del matorral crasicaule de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán en 1996 y 1997. Temp. = Temperatura promedio (8:00 a.m.); Temp máx = temperatura máxima promedio; Evap = evaporación total; HR = Humedad relativa; HR min = Humedad relativa mínima promedio; HR máx = humedad relativa máxima promedio. Los números 15, 21 y 30 indican el número de días que la variable fue retrasada con respecto a la fecha de registro fenológico.

Especie	Parámetros	Coef.	t	P	F modelo	r <sup>2</sup>
<i>M. luisana</i> (1996)	HR media 30	-0.155	-4.25	0.001	65.88	0.94
	HR min 30	0.677	113.197	<0.001		
	Lluvia 15	-0.034	-3.272	0.007		
<i>M. luisana</i> (1997)	Temp 30	0.388	5.197	<0.001	27.85	0.67
<i>C. melanadenia</i> (1996)	HR media 30	-0.185	-3.165	0.010	27.45	0.84
	HR min 30	0.626	7.386	<0.001		
<i>C. melanadenia</i> (1997)	HR min 30	0.189	9.035	<0.001	158.98	0.99
	HR máx 30	-0.373	-7.109	<0.001		
	Temp máx 15	0.213	2.431	0.042		
	Fotoperiodo 30	4.36	11.787	<0.001		
	Evap 30	-0.06	-8.428	<0.001		
<i>P. laevigata</i> (1996)	HR min 30	0.464	6.864	<0.001	27.79	0.84
	Lluvia 30	-0.020	-2.865	0.017		
<i>P. laevigata</i> (1997)	Temp 30	0.297	6.983	<0.001	337.97	0.97
	Fotoperiodo 30	1.600	7.872	<0.001		
<i>C. tortuosa</i> (1996)	HR min 15	-0.438	-2.492	0.022	48.55	0.83
	Radiación 30	0.072	-8.519	<0.001		
<i>C. tortuosa</i> (1997)	HR media 21	0.151	3.244	0.008	10.52	0.48

Fig. 4. Fenología floral de especies arbustivas (2 deciduas, 2 perennifolias) de la reserva de la biosfera Tehuacán-Cuicatlán, durante 1996 y 1997. (a) Promedio de botones florales  $\pm$  S.E.; (b) promedio de flores  $\pm$  S.E.



un evento de floración en *P. laeviga*, debido a que la fenología floral de esta especie ocurre en marzo y el periodo de estudio solo abarco una sola vez a este mes durante 1997. Sin embargo, contrario a lo esperado el número de flores en esta especie fue muy bajo.

### Implicaciones de "El Niño" sobre la fenología

La variación en las condiciones ambientales asociada con el evento de El Niño se traducen en una alteración en el ritmo fenológico de las plantas. Las sequías generan estrés fisiológico en las plantas; sin embargo, esta no necesariamente acelera la senescencia de las hojas, ni tampoco reduce el tiempo de retención del follaje en los arbustos. Las plantas podrían incrementar la vida de las hojas y detener la producción de estas, debido a que decrece la necesidad de recursos (Casper *et al.*, 2001).

Sin duda la sequía del verano de 1997 fue un evento que provocó una disminución importante en el PHS en la reserva de la biosfera de Tehuacán-Cuicatlán. Para las especies arbustivas estudiadas, la disminución en el PHS fue el gatillo para el disparo de la caída de hojas. En el año pluvialmente típico de 1996, la caída de hojas de los arbustos deciduos inició cuando el PHS estuvo entre -0.5 a -1.0 MPa, mientras que para las especies perennifolias inició cuando estuvo entre -1.5 a -2.0 MPa. Estos valores de PHS coinciden con aquellos registrados para la caída de hojas en arbustos de ambientes secos estacionales (Williams *et al.*, 1997). Sin embargo, las hojas comenzaron a caer cuando el PHS fue mucho más negativo (-8.0 MPa) en el verano siguiente de 1997, por lo que la vida de las hojas fue mayor que en el año previo. Aunque es claro que la abscisión de las hojas está asociada al PHS, algunas especies en los ecosistemas áridos adelantan o atrasan la caída de hojas en función de la fase de crecimiento en que ocurre la sequía (Casper *et al.*, 2001).

Los patrones fenológicos de *Mimosa luisana* y *Caesalpinia melanadenia* fueron similares durante los dos años de estudio a pesar de las diferencias marcadas en la cantidad de lluvia, por lo que pueden considerarse como arbustos deciduos a la sequía. Por otro lado, las especies perennifolias mostraron patrones que pueden representar distinta tolerancias a la sequía. El arbusto *Prosopis laevigata* es una conocida freatófita que tiene un sistema de raíces profundo, mientras que *Castela tortuosa* al parecer tiene un sistema de raíces superficial a una máxima profundidad de 2 m, sin embargo ambas especies pueden mantener sus hojas durante la sequía estacional (Reynolds *et al.*, 1999; Hacke *et al.*, 2000). La tolerancia a la sequía de *Castela tortuosa* puede explicarse por el carácter esclerófilo de sus hojas que

reduce la transpiración, además el grosor de las paredes celulares de sus hojas es importante en los controles de hidratación y re-hidratación (Salleo *et al.*, 1997).

El patrón reproductivo de *M. luisana* y de *C. melanadenia* fue similar al de la fenología foliar. Ambas arbustos deciduos fueron dependientes de los pulsos de humedad del suelo y fueron fuertemente afectados por la sequía de verano de 1997.

Poco es conocido acerca del efecto de los episodios de El Niño sobre los ecosistemas terrestres, sin embargo, se han reportado inusuales incrementos en la geminación de plantas anuales, crecimiento vegetativo y floración de especies en desiertos (Dillon & Rundel, 1990; Polis & Hurd, 1997; Holmgren *et al.*, 2001, 2006a; Dech & Nosko, 2004). Estos eventos han sido consecuencia de un incremento en la precipitación debido a El Niño en algunas regiones sudamericanas y norteamericanas. Por lo que en el centro-sur de México un fenómeno similar podría ocurrir durante episodios de La Niña. Esto debido a que en el año de La Niña de 1998 las precipitaciones se incrementan en la misma zona de estudio (Pavón *et al.*, 2005).

Durante el periodo de las observaciones fenológicas reportadas, se realizaron simultáneamente en el sitio registros de la productividad primaria neta (Pavón & Briones 2000, Pavón *et al.*, 2005). Los valores obtenidos resaltan el efecto de El Niño en el ecosistema semiárido, ya que durante julio-agosto de 1996 la producción de raíces fue de 4.86 g m<sup>-2</sup> y para el mismo periodo de 1997 la productividad de raíces disminuyó a solo 0.04 g m<sup>-2</sup>. Por otro lado, la producción de hojarasca, como reflejo de la productividad primaria neta aérea, tuvo una disminución importante durante el episodio de El Niño de 1997 con una diferencia de 20 g m<sup>-2</sup> con respecto al año previo.

Recientemente, los trabajos sobre el efecto de El Niño en la biota se han incrementado cubriendo una amplia diversidad de tópicos como el crecimiento poblacional, el establecimiento en plantas, la dinámica del banco de semillas, crecimiento y mortalidad de arboles, las interacciones bióticas, la fenología y la dinámica de los ecosistemas terrestres (Bowers 1997; Zhang & Li, 1999; Beaubien & Freeland 2000, Gutiérrez *et al.*, 2000, Holmgren *et al.*, 2001; Jaksic, 2001; Gutiérrez & Meserve 2003; Meserve *et al.*, 2003; Dech & Nosko, 2004; Wright & Calderón, 2006; Nishimua *et al.*, 2007). Sin embargo, el conocimiento sobre cómo la frecuencia e intensidad de los eventos de El Niño afectan a los ecosistemas terrestres en aún escaso. Al parecer El Niño puede actuar como un modulador en la dinámica de los ecosistemas

semiáridos pasando de controles “bottom up” a “top down” y viceversa (Meserve *et al.*, 2003). Es decir, cuando ocurre un evento de El Niño que provoca lluvias intensas (p. ej. en la costa del pacífico sudamericano) se genera un incremento extraordinario en la productividad primaria con abundantes recursos tanto en tejidos vegetativos como florales, esto permite la dinámica de interacciones hacia arriba de la cadena alimenticia (bottom up). Por otro lado, si el evento de El Niño provoca sequías (p. ej. en la zona centro de México) ocurre lo contrario y las presiones se dan de altos niveles de la cadena alimenticia hacia abajo (top down). En otras palabras el fenómeno de El Niño podría funcionar como un tipo de interruptor para el cambio en la dinámica de los ecosistemas (principalmente áridos) que permiten su mantenimiento. Sin embargo, a la fecha no es claro como el incremento en la frecuencia del fenómeno podría modificar la dinámica mencionada.

Los estudios sobre los efectos de El Niño no son fáciles de planear, ya que a pesar de los esfuerzos, la precisión

para predecir a largo plazo el fenómeno no es la suficientemente adecuada. Es de suponer que muchos de los estudios publicados sobre el efecto de El Niño han sido fortuitos mientras se hacían evaluaciones varias dentro de los diferentes ecosistemas. Una de las propuestas más razonables para hacer evaluaciones planeadas es la de establecer proyectos ecológicos a largo plazo, por lo menos de 10 años. Lo anterior ha sido el caso de las evaluaciones realizadas en el sur del desierto de Atacama donde el establecimiento de parcelas de observación por más de 20 años ha permitido generar gran cantidad de información sobre El Niño y su efecto sobre los ecosistemas (Comunicación personal de Julio Gutierrez, director del proyecto en el CEAZA, Chile).

### **Agradecimientos**

Agradecemos el apoyo recibido por el proyecto FOMIX (98122) “Efecto del cambio climático sobre la biodiversidad en el estado de Hidalgo”.

## Literatura citada

- Beaubien E.G. & Freeland H.J. 2000.** Spring phenology trends in Alberta, Canada: links to ocean temperature. *International Journal of Biometeorology* 44: 53–59.
- Bowers J.E. 1997.** Demographic patterns of *Ferocactus cylindraceus* in relation to substrate age and grazing history. *Plant Ecology* 133: 37–48.
- Casper B.B., Forseth I.N., Kempenich H., Seltzer S. & Xavier K. 2001.** Drought prolongs leaf life span in the herbaceous desert perennial *Cryptantha flava*. *Functional of Ecology* 15: 740–747.
- Changnon S.A. 1999.** Impacts of the 1997–98 El Niño-generated weather in the United States. *Bulletin of the American Meteorology Society* 80: 1819–1827.
- D'Aleo J. 2002.** The oryx resource guide to El Niño and La Niña. Oryx Press, Westport Connecticut, USA.
- Dech J.P. & Nosko P. 2004.** Rapid growth and early flowering in an invasive plant, purple loosestrife (*Lythrum salicaria* L.) during an El Niño spring. *International Journal of Biometeorology* 49: 26–31.
- Dillon M.O. & Rundell P.W. 1990.** The botanical response of the Atacama and Peruvian desert floras to the 1982 – 1983 El Niño event. En: Glynn P.W. (ed) *Global Ecological Consequences of the 1982 – 1983 El Niño-Southern Oscillation*, Elsevier Oceanography Series 52, USA.
- Ezcurra E., Montaña C. & Arizaga S. 1991.** Architecture, light interception, and distribution of *Larrea* species in the Monte desert, Argentina. *Ecology* 72: 23–34.
- Gardner C.M.K., Robinson D., Blyth K. & Cooper J.D. 2000.** Soil water content. In: Smith KA, Mulling CE (eds) *Soil and environmental analysis: physical methods*. Marcel Dekker, Inc, New York. pp. 1–64.
- Glantz M.H. 2001.** Currents of change: impacts of El Niño and La Niña on Climate and Society. Cambridge University Press, 2a edition. 252 p.
- Gutiérrez J.R., Arancio, G. & Jaksic, F.M. 2000.** Variation in vegetation and seed bank in a Chilean semi-arid community affected by ENSO 1997. *Journal of Vegetation Science* 11: 641–648.
- Gutiérrez J. R. & Meserve P. L. 2003.** El Niño effects on soil seed bank dynamics in north-central Chile *Oecologia* 134: 511–517.
- Hacke U.G., Sperry J.S. & Pittermann J. 2000.** Drought experience and cavitation resistance in six shrubs from the Great Basin, Utah. *Basic and Applied Ecology* 1: 31–41.
- Holmgren M., Scheffer M., Ezcurra E., Gutiérrez J.R. & Mohren G. 2001.** El Niño effects on dynamics of terrestrial ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 16: 89–94.
- Holmgren M., Stapp P., Dickman C.R., Gracia C., Graham S., Gutiérrez J.R., Hice C., Jaksic F., Kelt D.A., Letnic M., Lima M., López B.C., Meserve P.L., Milstead W.B., Polis G.A., Previtalli M.A., Richter M., Sabaté S. & Squeo F.A. 2006a.** Extreme climatic events shape arid and semiarid ecosystems. *Frontier in Ecology and Environments* 4: 87–95.
- Holmgren M., Stapp P., Dickman C.R., Gracia C., Graham S., Gutiérrez J.R., Hice C., Jaksic F., Kelt D.A., Letnic M., Lima M., López B.C., Meserve P.L., Milstead W.B., Polis G.A., Previtalli M.A., Richter M., Sabaté S. & Squeo F.A. 2006b.** A synthesis of ENSO effects on drylands in Australia, North America and South America. *Advances in Geoscience* 6: 69–72.
- Jaksic F.M. 2001.** Ecological effects of El Niño in terrestrial ecosystems of western South America. *Ecography* 24: 241–250.
- Kikusawa K. 1991.** A Cost-Benefit analysis of leaf habitats and leaf longevity of trees and their geographical pattern. *American Naturalist* 138: 1250–1263.
- Mcphaden M.J. 2002.** El Niño, La Niña, and the climate swings of 1997–98: a review. In: Glantz MH (ed) *La Niña and its impacts: facts and speculation*. United Nations University Press, New York. pp. 25–30.
- Meserve P.L., Kelt D.A., Milstead W. B., & Gutierrez J.R. 2003.** Thirteen Years of Shifting Top-Down and Bottom-Up Control. *BioScience* 53: 633 – 646.
- Meyn A., Taylor S.W., Flannigan M.D., Thonicke, K. & W. Cramer. 2009.** Relationship between fire, climate oscillations, and drought in British Columbia, Canada, 1920–2000. *Global Change Biology* 16: 977–989.
- Nishimua T.B., Suzuki E., Kohyama T. & Tsuyuzaki S. 2007.** Mortality and growth of trees in peat-swamp and heath forests in Central Kalimantan after severe drought. *Plant Ecology* 188: 165–177.
- Noy-Meir I. 1985.** Desert ecosystems structure and function. In: Evenari M, Noy-Meir I (eds) *Hot desert and arid scrublands, Ecosystems of the World*, vol. 120. pp. 93–101.
- Pavón N.P. & Briones O. 2000.** Root distribution, standing crop biomass and belowground productivity in a semidesert in México. *Plant Ecology* 146:131–136.

**Pavón, N.P., & Briones, O. 2001.** Phenological patterns of nine perennial plants in an intertropical semiarid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 49: 265-277.

**Pavón N.P., Briones O. & Flores-Rivas J. 2005.** Litterfall production and nitrogen content in an intertropical semi-arid Mexican scrub. *Journal of Arid Environments* 60: 1-13.

**Philander, S.G. 2004.** Our affair with El Niño. Princeton University Press, New Jersey. 275 p.

**Polis G.A. & Hurd S.D. 1997.** El Niño effects on the dynamics and control of an island ecosystem in the Gulf of California. *Ecology* 78:1884–1897.

**Reynolds F.J., Virginia R.A., Kemp P.R., de Soyza A.G. & Tremmel D.C. 1999.** Impact of drought on desert shrubs: effects of seasonality and degree of resource island development. *Ecological Monograph* 69: 69–106.

**Salleo S., Nardini A. & Lo Gullo M.A. 1997.** Is sclerophylly of Mediterranean evergreens an adaptation to drought? *New Phytologist* 135: 603-612.

**Scheiner S.M. & Gurevitch J. 2001.** Design and analysis of ecological experiments. Oxford University Press, Oxford.

**Valiente L. 1991.** Patrones de precipitación en el valle semiarido de Tehuacán, Puebla. Tesis de Licenciatura. Fac. de Ciencias, UNAM, México.

**van der Kaars, S., Tapper N. & Cook E.J. 2010.** Observed relationships between El Niño-Southern Oscillation, rainfall variability and vegetation and fire history on Halmahera, Maluku, Indonesia *Global Change Biology* 16: 1705-1714.

**Williams R.J., Myers B.A., Muller W.J., Duff G.A. & Eamus D. 1997.** Leaf phenology of woody species in a north Australian tropical savanna. *Ecology* 78:2542-2558.

**Wright S.J. & Calderón O. 2006.** Seasonal, El Niño and longer term changes in flower and seed production in a moist tropical forest. *Ecology Letters*, 9: 35–44.

**Zhang, Z. & Li D. 1999.** A possible relationship between outbreaks of the oriental migratory locust (*Locusta migratoria manilensis*) in China and the El Niño episodes. *Ecological research* 14: 267 – 270.

**Zar J.H. 1996.** Biostatistical Analysis. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey. 718 p.